



# ANÁLISE TEÓRICA DOS DIFERENTES TRAÇOS E MÉTODOS NA ELABORAÇÃO DE CONCRETOS DE PÓS REATIVOS- CPR

Keila Mayany Xavier (1), Ângela Costa Piccinini (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1)keila\_m\_xavier@hotmail.com, (2)acp@unesc.net

## RESUMO

O concreto de pós reativos (CPR) é uma mistura que não possui agregado graúdo em sua composição. Sua constituição se dá basicamente por materiais finos, entre eles, cimento, areia, sílica ativa, pó de quartzo, superplastificante e uma relação água/cimento, entre 0,15 a 0,30. O diâmetro máximo das partículas deve ser no máximo de 2 mm e a resistência à compressão pode ultrapassar os 200 MPa, podendo atingir, segundo algumas referências bibliográficas, 800 MPa. No âmbito internacional, o concreto de pós reativos, além de já ter sido aplicado em obras, como passarelas, coberturas, pontes, mostra-se, também, como alternativa de aplicação em obras hidráulicas, construções para armazenamento de rejeitos radioativos, peças para indústrias mecânicas, mobiliários, entre outras. No entanto, no Brasil, o CPR é um compósito relativamente novo e ainda pouco difundido, existe uma carência de estudos sobre as vantagens desta mistura. Neste contexto, este trabalho tem por objetivo analisar e comparar teoricamente referências bibliográficas que tratam do estudo experimental do concreto de pós reativos. Pode-se verificar que para o desenvolvimento de uma dosagem deve ser levado em consideração muitos fatores que interferem diretamente nas resistências que serão obtidas. Observa-se a importância de um estudo químico/físico para a caracterização dos materiais que serão utilizados para a mistura. O método de empacotamento de partículas, utilizado em algumas referências, mostrou ser significativamente importante para obtenção de resistências elevadas. Na dosagem dos componentes e nos resultados analisados, o tipo e a quantidade do superplastificante aparecem como fatores que exige cuidado. Deve ser utilizado superplastificante de terceira geração, para garantir uma relação água/aglomerante próxima de 0,20. Essa escolha não deve ser feita separadamente do cimento, os dois devem ser submetidos a ensaios de compatibilidade (mini slump e o cone de Marsh). O Brasil ainda não possui normas regulamentadoras sobre os concretos de pós reativos, são necessárias pesquisas sobre a metodologia para desenvolvimento do CPR, características dos materiais e as dosagens dessas misturas.

*Palavras-Chave: Concreto; pós reativos; CPR; comparações; metodologia.*

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo de toda a história o concreto vem se desenvolvendo, acompanhando o conhecimento existente de cada época. Segundo Isaia (2011), uma das principais

causas do grande emprego do concreto é a sua constituição como material cerâmico, cuja matéria-prima existe em praticamente todos os lugares do planeta.

Com o aumento da demanda de construções que requerem propriedades mecânicas mais elevadas (resistência elevada à compressão, à tração e à flexão), foram desenvolvidos os concretos de ultra alto desempenho (CUAD), como o concreto de pós-reativos (CPR). Por meio de pesquisas realizadas desde 1990, na França e no Canadá, o CPR foi desenvolvido para substituir o concreto de alto desempenho (CAD) e, até mesmo, o aço, tornando-se o material de tecnologia de ponta, projetado especificamente para atender a exigências industriais e militares (BINA, 1999).

Segundo Tutikian (2013), com consumos de cimento superiores ao convencional, o CPR se caracteriza pela ausência de agregados graúdos em sua composição, com diâmetro inferior a 2mm, sendo constituído basicamente por pós. Usualmente utiliza-se: a areia fina de quartzo, o pó de quartzo e a sílica ativa, combinados com cimento, água e aditivos superplastificantes, (COLLEPARDI et al., 1995; BLAIS & COUTURE, 1999; MEHTA E MONTEIRO, 2008).

O CPR é um concreto com alta ductilidade, impermeável à água e a gases e pode ser usado para construções que comportam substâncias radioativas. Para obtenção do mesmo é importante garantir a homogeneidade pela eliminação dos agregados graúdos, aumentando a densidade pela otimização da distribuição granulométrica dos grãos e/ou aplicação de pressão no preparo, provocando redução do ar incorporado (SERAFFIM, LICETTI, 2012).

A dosagem correta do concreto de pós reativos pode garantir resistências elevadas. A tabela 1 apresenta a comparação entre os concretos comum, de alto desempenho e o CPR.

Tabela 1: Propriedades mecânicas comparadas ao concreto comum (CC) e de alto desempenho (CAD).

Propriedades	CC	CAD	CPR
Resistência à Compressão Simples (MPa)	20 – 50	60 – 80	200 – 800
Resistência à Flexão (MPa)	4 – 8	6 – 10	15 – 140

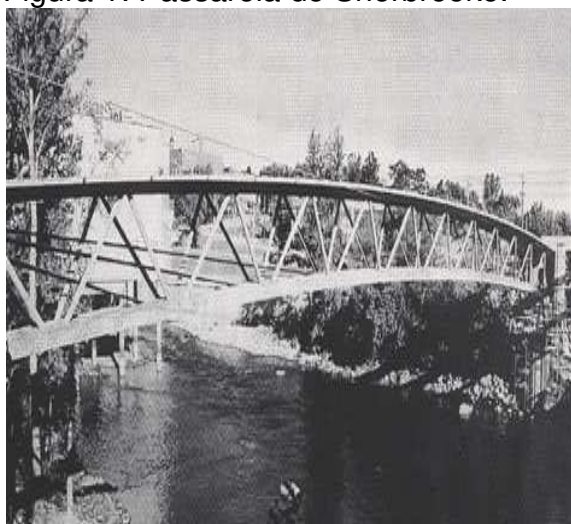
Fonte: adaptado de DOUGAT et al., 1996.

O CPR possibilita várias utilizações para seu uso, conforme Vanderlei (2004, p.2).

O concreto de pós reativos aparece em pesquisas internacionais, mostrando-se como alternativa para diversos tipos de aplicação em várias áreas: obras hidráulicas e de saneamento; construções para armazenamento de rejeitos radioativos; peças para indústrias mecânicas como parafusos, engrenagens, projéteis de armamento e outros; ou seja, aplicações que aproveitam a excelente resistência à compressão, à tração, impermeabilidade e durabilidade.

A primeira construção utilizando o CPR foi a da passarela de Sherbrooke (figura 1), construída no Canadá em 1997, que possui 56m de vão. É caracterizada por propriedades físicas de alto desempenho, como resistência à compressão e ductilidade.

Figura 1: Passarela de Sherbrooke.



Fonte: Un ponte verso IL 2000.

O concreto de pós reativos permite a indústria de concreto otimizar o uso de materiais, gerar benefícios econômicos e construir estruturas que sejam fortes, duráveis e sensíveis ao meio ambiente. Comparado com outras estruturas de concreto convencionais, o CPR fornece muitos aprimoramentos, segundo Dauriac (1997), segue alguns desses:

- a) A resistência superior resulta em uma redução de peso significativa que produz estruturas de transporte mais finas, reduz os custos gerais e aumenta o espaço útil em edifícios altos.
- b) A ductilidade e a absorção de energia superiores proporcionam maior confiabilidade na estrutura, mesmo sob condições de sobrecarga ou terremotos.

- c) A eliminação do aço de reforço suplementar permite que a forma do membro estrutural seja quase ilimitada.
- d) A resistência aprimorada à abrasão proporciona vida útil prolongada para plataformas de pontes e pisos industriais.
- e) A resistência superior à corrosão oferece proteção contra produtos químicos de degelo e exposição contínua a ambientes úmidos.
- f) Uma quantidade significativa de cimento Portland não hidratado no produto acabado fornece um potencial de autocura sob condições de craqueamento.
- g) A finura do produto permite um acabamento superficial de alta qualidade.

Segundo Soto (2014), como se trata de um material relativamente novo e ainda pouco difundido no Brasil, existe uma carência de estudos sobre o concreto de pós reativos. Dentro desse contexto, esse trabalho, por meio de análise bibliográfica, busca relacionar os principais fatores (materiais, métodos e dosagens) de traços sem a adição de fibras e sem cura térmica, que interferem diretamente no aumento da resistência à compressão dos concretos de pós reativos. Pretende, desta maneira, contribuir com o desenvolvimento científico e tecnológico, auxiliando pesquisas futuras desenvolvidas nessa área.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 MATERIAIS UTILIZADOS**

Para o desenvolvimento da pesquisa será realizado um levantamento bibliográfico de trabalhos já produzidos nessa área de estudo, com buscas em artigos, livros, teses, entre outros.

### **2.2 MÉTODO**

No estudo, analisou-se os traços de concreto de pós reativos sem a adição de fibras metálicas e sem aplicação de cura térmica. A pesquisa está baseada na análise das referências bibliográficas, onde optou-se pelo uso de um padrão de escolha dos trabalhos a serem estudados e comparados. Os traços analisados continham os componentes básicos, cimento, areia, pó de quartzo, sílica ativa, água e superplastificante. Essa escolha foi tomada devido a grande quantidade de variáveis

que interferem na elaboração de um concreto de pós reativos. As etapas do trabalho estão apresentadas na figura 2.

Figura 2: Diagrama das etapas do trabalho.



Fonte: Autor, 2018.

Na primeira etapa, foram realizados o estudo e a revisão bibliográfica da composição dos traços e dos métodos utilizados para classificação dos trabalhos. Para o aprofundamento teórico e conclusivo foram utilizados três trabalhos realizados em diferentes lugares o que possibilita a comparação de diferentes materiais e dosagens. Sendo essas pesquisas a de Vanderlei (2004), “Análise experimental do concreto de pós radioativos: Dosagem e propriedades mecânicas”, a de Biz (2001), “Concreto de pós reativos”, e a de Machado (2017), “Análise experimental do comportamento do concreto de pós reativos”.

### **2.2.1 Estudo do trabalho de Vanderlei (2004), “Análise experimental do concreto de pós reativos: Dosagem e propriedades mecânicas.”**

No trabalho de Vanderlei (2004), foram feitos levantamentos teórico e experimental, utilizando a dosagem de AITCIN & RICHARD (1996), conforme tabela 2. Essa dosagem foi desenvolvida e elaborada para a construção da passarela no Canadá. A passarela de Sherbrooke serviu como referência preliminar de obras com o concreto de pós reativos.

Tabela 2: Dosagem de referência de AITCIN & RICHARD (1996).

Componentes	Composição (kg/m <sup>3</sup> )
Cimento	705
Areia	1010
Sílica Ativa	230
Pó de quartzo	210
Superplastificante	19
Água	195

Fonte: adaptado de Vanderlei, 2004.

Para elaboração dos traços utilizou-se materiais da região de São Paulo- SP. Abaixo segue os materiais e suas especificações (VANDERLEI, 2004).

### 2.2.1.1 Areia

Vanderlei (2004), relata que foi realizada a análise granulométrica e química de duas areias diferentes. O resultado não apresentou diferenças significativas então optou-se pela areia denominada AREIA II. O diâmetro médio dos grãos da AREIA II é 0,28mm e a porcentagem de quartzo (SiO<sub>2</sub>) é de 99,42%, sendo assim, caracterizada como uma areia quartozita. Está areia foi classificada como muito fina, a massa específica, segundo a NBR NM 52, de 2,64kg/dm<sup>3</sup>.

### 2.2.1.2 Cimento

Foram utilizados dois tipos de cimento Portland de alta resistência inicial, o CPV ARI PLUS e o CPV ARI RS. O cimento tipo PLUS é o CPV ARI comum, e o tipo RS é resistente a sulfato, contendo em sua composição escória de alto forno. As propriedades físicas destes cimentos estão mostradas na tabela 3 (VANDERLEI,2004).

Tabela 3: Propriedades dos cimentos.

Características e Propriedades	Unidade	CP V ARI RS	CP V ARI PLUS
Massa Específica (NBR 6474/ NM 23)	kg/dm <sup>3</sup>	3,08	3,12
Resistência à Compressão 7 dias	MPa	40,4	47,9
NBR7215:1996 28 dias	MPa	49,7	57,3

Fonte: adaptado de Vanderlei, 2004.



### **2.2.1.3 Aditivo superplastificante**

Foram utilizados dois tipos de superplastificante considerados de última geração. No entanto o aditivo que melhor correspondeu aos testes, é conhecido comercialmente como Glenium 51. É um superplastificante de 3ª geração feito com base em uma cadeia de éter carboxílico modificado, ou policarboxilatos, isento de cloretos. Sua massa específica está entre 1,067 g/cm<sup>3</sup> e 1,107g/cm<sup>3</sup>, pH de 5 a 7, viscosidade de 95 à 160 cps a 20°C, e teor de sólidos entre 28,5% a 31,5%. (VANDERLEI,2004).

### **2.2.1.4 Pó de quartzo**

O pó de quartzo utilizado, conforme Vanderlei (2004), é comercializado com o nome Sílica Malha 325. Foi realizado o ensaio de granulometria por raio laser, e o resultado mostrou que 90% dos grãos da amostra tinham diâmetro menores que 37,37µm, 50% possuíam diâmetro menores que 10,80µm, e 10% apresentaram diâmetro menores que 1,33µm.

### **2.2.1.5 Sílica ativa**

A sílica ativa (SA) utilizada foi a não densificada, com massa específica no valor de 2222 kg/m<sup>3</sup>, e superfície específica aproximadamente igual a 18.000 cm<sup>2</sup>/g (VANDERLEI,2004).

### **2.2.1.6 Método do Empacotamento**

A análise da variação da distribuição dos tamanhos das partículas existentes que compõem um material é fundamental para a utilização do método de empacotamento. Segundo Castro e Pandolfelli (2009), o conceito de uma alta densidade de empacotamento foi recentemente redescoberto como um parâmetro chave para a obtenção de materiais cimentícios de ultra alto desempenho.

Além de aumentar a densidade, é necessário obter a trabalhabilidade adequada do material estudado para que se permita o manuseio e adensamento. A quantidade utilizada de água para provocar as reações químicas e obter trabalhabilidade do

material, é um fator importante que pode provocar o aparecimento de poros na mistura, diminuindo assim a densidade. Outro fator a ser considerado é a energia aplicada no material, que interfere diretamente no empacotamento. Na teoria para alcançar um empacotamento perfeito, não precisaria de adição de água na mistura e nem de outro aditivo.

### 2.2.1.7 Dosagem do Concreto de pós reativos

Após a análise dos materiais, Vanderlei (2004) elaborou duas dosagens, conforme tabela 4.

Tabela 4: Dosagem do concreto de pós reativos, segundo Vanderlei (2004).

Componentes	Dosagem 1	Dosagem 2
Cimento Portland	1	1
Areia	0,614	1,101
Pó de quartzo	0,170	0,235
Sílica Ativa	0,177	0,246
Superplastificante (2%)	0,020	0,020
Relação água/cimento	0,216	0,216

Fonte: adaptado de Vanderlei, 2004.

Procedimento de mistura para as duas dosagens adotada por Vanderlei (2004), foi:

- Coloca-se todo material seco em um saco plástico e mistura-se até que fique visualmente homogênea;
- Despeja-se o material em um misturador planetário de capacidade de 5 litros, ligado em baixa rotação;
- Mistura-se a água com o superplastificante em uma única solução e adiciona-se à mistura aumentando-se a rotação do misturador.

Vanderlei (2004) moldou seis corpos de-prova cilíndricos, de dimensões 5 x 10cm, adensados manualmente com soquete. Após 24 horas eram desformados e colocados em câmara úmida por 7 dias e permaneciam em meio ambiente até a data dos ensaios. Três corpos-de-prova foram ensaiados aos 14 dias e os outros três com 28 dias.

### 2.2.1.8 Resistências médias à compressão axial das dosagens

A resistência à compressão para as duas dosagens encontra-se na tabela 5.



Tabela 5: Resistências médias à compressão axial das dosagens 1 e 2.

Resistência/dias	14 dias	28 dias
Dosagem 1	88,00 MPa	103,22 MPa
Dosagem 2	89,76 MPa	128,85 MPa

Fonte: adaptado de Vanderlei, 2004.

Pode se observar que aos 14 dias não houve diferença significativa na resistência adquirida, mas aos 28 dias obteve um aumento significativo devido a composição que contem mais pó de quartzo e sílica ativa.

## 2.2.2 Estudo do trabalho de Biz (2001), “Concreto de pós reativos”.

No estudo de Biz (2001), aprofundou-se para a caracterização dos materiais constituintes do concreto de pós reativos (CPR). Em sua pesquisa ele realizou os testes com diferentes tipos de cimento e aditivos para assim caracterizar o mais apropriado para ser utilizado em concretos de alta resistência.

### 2.2.2.1 Cimento

Segundo Biz (2001), quanto ao cimento, o produto mais indicado pela literatura internacional (BONNEAU et al., 1996 e 1997, DUGAT et al., 1996) na produção dos concretos de pós reativos é o cimento comum sem adição, tendo baixos teores de C<sub>3</sub>A (aluminato de cálcio) e baixos valores de finura Blaine. A limitação do teor de C<sub>3</sub>A está ligada a eficiência de fluidificação do aditivo na pasta (COLLEP ARDI et al., 1997).

#### 2.2.2.1.1 Cimento Portland CP II-fibro 40

Biz (2001) utilizou para o traço referência o cimento Portland CP II-fibro 40. Verificou-se pelos resultados obtidos que o fato dele possuir 8% de aluminato de cálcio (C<sub>3</sub>A) interferiu diretamente para baixa resistência adquirida. Sabe-se que cimentos com menores valores de C<sub>3</sub>A tendem a apresentar melhores resultados de fluidez, quando utilizado aditivo superplastificante na pasta.

#### **2.2.2.1.2 Cimento CP III 32 RS**

O CP III 32 RS após testes apresentou resistência aos 7 dias foi de 26 MPa e aos 28 dias de 39 MPa (BIZ, 2001).

#### **2.2.2.1.3 Cimento CP V-ARI PLUS**

É um cimento especialmente desenvolvido para obtenção de alta resistência final e inicial. Segundo Biz (2001), o CP V- ARI PLUS apresentou resistência aos 7 dias de 47 MPa e aos 28 dias resistência de 55 MPa.

#### **2.2.2.2 Sílica Ativa**

A sílica ativa utilizada possuía coloração cinza, disponível em pó. Seu teor de carbono era de 0,81 %, densidade aparente 172,8 kg/m<sup>3</sup>, massa específica 2,21 g/cm<sup>3</sup> e área específica de 18000 m<sup>2</sup>/kg. Sua composição química apresenta maior quantidade, 94,58%, de dióxido de silício. (BIZ,2001).

#### **2.2.2.3 Pó de quartzo**

O pó de quartzo utilizado no desenvolvimento da pesquisa foi adquirido na região de Campinas e possuía as seguintes características, conforme tabela 6.

Tabela 6: Caracterização do pó de quartzo.

Características	Unidade	Quantidade
Massa específica	g/cm <sup>3</sup>	2,70
Diâmetro correspondente a 62,30% das partículas	µm	8,70
Diâmetro abaixo do qual encontra-se 90% das partículas	µm	17,90
Dimensão média	µm	6,25

Fonte: adaptado de Biz, 2001.

#### **2.2.2.4 Areia de quartzo**

A areia utilizada para o desenvolvimento do trabalho é da região de Campinas –SP. Seguem as características na tabela 7.

Tabela 7: Caracterização da areia de quartzo.

Características	Unidade	Quantidade
Massa específica	g/cm <sup>3</sup>	2,70
Diâmetro abaixo do qual encontra-se 10% das partículas	µm	58,50
Diâmetro abaixo do qual encontra-se 90% das partículas	µm	340,70
Dimensão média	µm	162,70

Fonte: adaptado de Biz, 2001.

### 2.2.2.5 Aditivo superplastificante

Os estudos de compatibilidade iniciaram por testes com cone de mini slump. Foram testados três superplastificantes. Após os testes de cone Marsh e cone de mini slump optou-se pela utilização do terceiro aditivo testado, denominado como Hiperplastificante B. É um aditivo superplastificante de terceira geração, contendo 35% de sólidos, com base em cadeia de polímeros de éter carboxílico modificado. Foi desenvolvido para indústria de pré-moldados e concretos protendidos (BIZ, 2001).

### 2.2.2.6 Cone Marsh

O princípio do método, consiste em preparar uma pasta e medir quanto tempo demora para que uma certa quantidade da pasta escoe através de um funil com um dado diâmetro (BIZ, 2001).

A seguir segue a descrição do procedimento para realização do teste.

- misturar em recipiente, à parte, a sílica como cimento;
- diluir o aditivo hiperplastificante na água;
- colocar a água e o aditivo no misturador adicionando 50% do material em 60 segundos;
- misturar até o material estar fluido e adicionar, vagarosamente, o restante do cimento com a sílica em até 3 minutos;
- o tempo total de mistura foi de 9 minutos, sendo efetuada, em seguida, a primeira leitura (BIZ, 2001).

### 2.2.2.7 Cone de Mini Slump

O método de análise adotado por Biz (2001), foi baseado no ensaio de cone de "mini slump" de AITCIN, 2000. Este método, nada mais é do que a verificação do abatimento com uma pequena quantidade de pasta, que o torna um método rápido de verificação de eficiência e compatibilidade cimento-aditivo.

O cone é preenchido com o material até a altura de 57,2 mm, sendo golpeado 10 vezes com auxílio de uma espátula, antes de ser erguido sobre placa de acrílico. Normalmente, o abatimento é medido aos 10, 30, 40, 60, 90 e 120 min, para dar uma ideia da perda de abatimento ao longo do tempo. (BIZ, 2001).

### 2.2.2.8 Dosagem do Concreto de pós reativos

Após a análise dos materiais e suas propriedades, Biz (2001) elaborou duas dosagens (tabela 8), uma constituída pelo CP III 32-RS e outra pelo CP V-ARI PLUS.

Tabela 8: Dosagem do concreto de pós reativos, segundo Biz (2001).

Componentes	1- CP III 32- RS (kg/m <sup>3</sup> )	2- CP V-ARI PLUS (kg/m <sup>3</sup> )
Cimento	864	887
Areia	0	177
Pó de quartzo	864	887
Sílica Ativa	173	177
Aditivo	10,4	10,6
Água	311	293
Relação água/aglomerante	0,30	0,275

Fonte: adaptado de Biz, 2001.

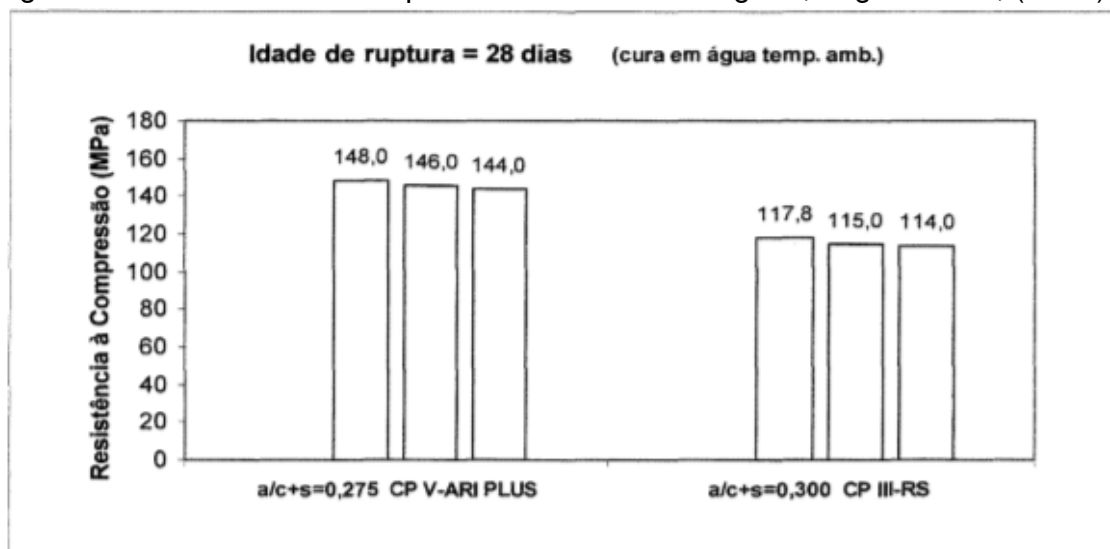
Procedimento de mistura para as duas dosagens adotada por Biz (2001), foi:

- pesar os materiais separadamente;
- misturar o cimento, a sílica e o pó de quartzo dentro de um vasilhame por 60 segundos até o material ficar homogêneo;
- misturar o aditivo na água e em seguida despejar na bacia do misturador;
- adicionar o cimento com a sílica e o pó de quartzo na bacia;
- misturar tudo por 2,5 minutos em velocidade baixa, desligando-se em seguida;
- raspar com auxílio de uma espátula todo o material aderido na borda da bacia e na pá do misturador por 30 segundos;
- ligar o misturador por mais 30 segundos na velocidade baixa;
- ajustar a velocidade para alta e misturar por mais 7 min;
- tempo total da mistura e de 11 min;
- após a mistura, moldar os corpos-de-prova com duas camadas aplicando 30 golpes por camada.
- colocar um vidro sobre os corpos-de-prova para manter nivelada a superfície e impedir perda de água;
- desmoldar com 24 horas.

Biz (2001), fez a substituição das formas cilíndricas 10x20 cm por formas cúbicas de 5x5x5 cm. Tal substituição, é justificada por eliminar a necessidade de capeamento dos corpos de prova cilíndricos com enxofre, visto que o enxofre apresenta

resistência mecânica inferior ao concreto. Foram moldados 12 corpos de prova com cura em água em temperatura ambiente. Na figura 3 são apresentadas as resistências a compressão obtida.

Figura 3: Resistências à compressão axial das dosagens, segundo Biz, (2001).



Fonte: adaptado de Biz, 2001.

### 2.2.3 Estudo do trabalho de Machado (2017), “Análise experimental do comportamento do concreto de pós reativos – CPR”

Machado (2017) baseou-se no estudo experimental de Christ (2011). Foi acrescentado nos corpos de prova pressão de 1,8 tf para compactar e diminuir os vazios da mistura.

#### 2.2.3.1 Cimento Portland

O cimento utilizado foi o CP-V-ARI, que tem como característica atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação. Além, de conter elevado teor de clínquer e um grau de finura alto (MACHADO,2017).

#### 2.2.3.2 Areia

A areia utilizada foi fornecida pelo IPT (Instituto de Pesquisa e Tecnologia do Estado de São Paulo) e é do tipo normal brasileira de acordo com a ABNT NBR 7214:2015. A granulométrica da areia utilizada pode ser verificada na tabela 9.

Tabela 9: Porcentagem das frações de areias utilizadas.

Peneira Retida (mm)	% Utilizada
1,20	42
0,60	18
0,30	15
0,15	25

Fonte: adaptado de Machado, 2017.

#### **2.2.3.3 Sílica Ativa**

A sílica ativa, segundo o fabricante, apresenta diâmetro médio das partículas de 0,20  $\mu\text{m}$  e massa específica de 2,22  $\text{g/cm}^3$ . Foi disponibilizada pelo Laboratório de Materiais da Construção Civil, situado no Iparque – Parque Científico e Tecnológico da UNESC (MACHADO, 2017).

#### **2.2.3.4 Pó de quartzo**

O pó de quartzo foi fornecido pela empresa Esmalglass do Brasil S.A, e utilizou-se o material retido na malha 200. A sua composição básica é o dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) (MACHADO, 2017)

#### **2.2.3.5 Aditivo Superplastificante**

O aditivo utilizado foi da marca BASF, da linha MasterGlenium® ACE tipo 402, o líquido possui uma cor amarelada, um pH de 8.50 - 10.50, e uma massa específica na faixa de 1,055 – 1,100  $\text{g/cm}^3$  (MACHADO, 2017).

#### **2.2.3.6 Molde para Aplicação de Pressão no concreto**

Machado (2017) optou por confeccionar uma bucha de nylon com dimensão de 5 cm de diâmetro e 4 cm de altura que foi colocada no topo do corpo de prova para ser aplicada a pressão de 1,8 tf através de uma prensa hidráulica.



### 2.2.3.7 Dosagem do Concreto de pós reativos

No trabalho de Machado (2017), o traço utilizado, tabela 10, foi baseado no estudo experimental de Christ (2011), na Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos. Os testes foram realizados no laboratório LMCC – Laboratório de Materiais de Construção Civil localizado no Iparque – Unesc em Criciúma / SC.

Tabela 10: Dosagem da mistura.

Material	Dosagem
Cimento	1
Areia	1,101
Sílica Ativa	0,15
Pó de quartzo	0,235
Aglomerante	0,030
Relação água/cimento (kg/m <sup>3</sup> )	0,200

Fonte: adaptado de Machado, 2017.

Procedimento de mistura para as duas dosagens adotada por Machado (2017), foi:

Os materiais foram pesados previamente e separados em bandejas, para posterior mistura na máquina. A misturadora utilizada foi de 5 litros e foi previamente umedecida. Com a máquina ainda desligada, foram adicionados os materiais, exceto água e aglomerante, e misturados por 5 minutos em velocidade baixa. Após esse período, com a misturadora ligada, acrescentou-se água e aglomerante em uma solução única e misturou-se por mais 10 minutos em velocidade baixa.

Foram confeccionados 5 corpos de prova cilíndricos, segundo a ABNT NBR 7215:1996. A medida dos corpos era de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, quatro camadas e adensados com trinta golpes de soquete padrão. Foi aplicado pressão em todos os corpos de prova para que o número de vazios se tornasse menor. A força aplicada em cada corpo de prova foi de 1,8 tf, ou seja, o limite da prensa para que não houvesse perda dos moldes (MACHADO, 2017).

Os corpos de prova foram ensaiados aos 14 dias e aos 28 dias. A média dos resultados dos ensaios à compressão axial da dosagem está na tabela 11.

Tabela 11: Resistências médias à compressão axial da dosagem.

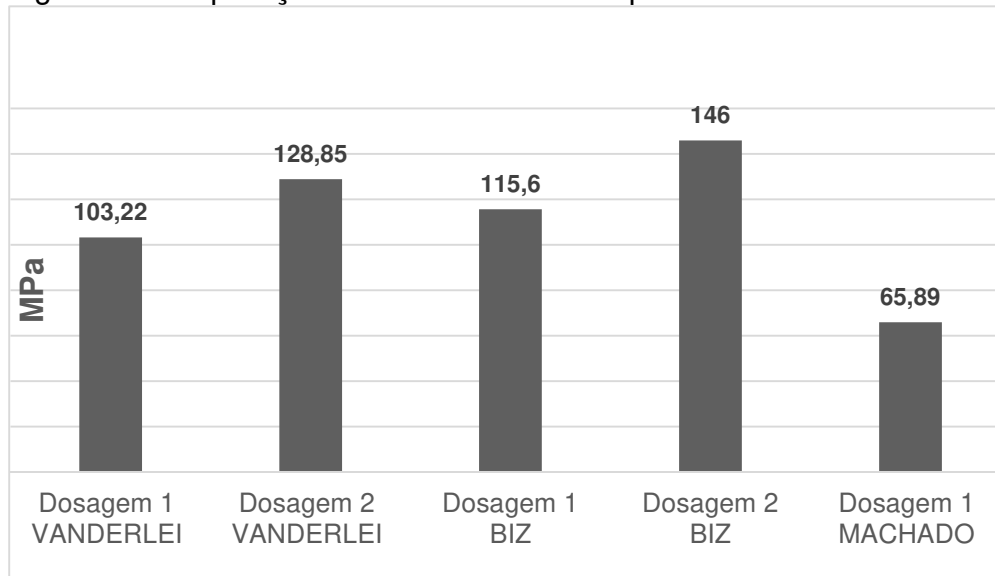
Resistência/dias	14 dias	28 dias
Dosagem 1	43,18 MPa	65,89 Mpa

Fonte: adaptado de Machado, 2017.

## 3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com base nos resultados obtidos nesse estudo, pode-se comprovar que o concreto de pós reativos pode realmente atingir resistências elevadas, desde que alguns critérios para a dosagem sejam tomados. Pode-se verificar na figura 4 a diferença de resistência à compressão de cada traço estabelecido por cada autor pesquisado.

Figura 4: Comparação da resistência à compressão.



Fonte: Autor, 2018.

Pode-se observar, pela figura 4, que entre as três referências bibliográficas estudadas a que atingiu resistência à compressão menor foi justamente a que não utilizou o método do empacotamento das partículas, não fez um estudo da granulometria dos materiais e nem do aditivo utilizados.

#### 4 CONCLUSÃO

Analisando as diferenças dos resultados obtidos com os traços, pode-se definir que ela ocorre devido a inúmeros fatores. Os estudos realizados neste trabalho permitem concluir que:

- O método utilizado para o desenvolvimento do traço deve ser elaborado após um estudo das propriedades dos materiais;
- A análise química e física é fundamental para determinar qual material será utilizado e qual será a possível reação em contato com os demais;

- O método do empacotamento é essencial para a elaboração da dosagem do concreto de pós reativos;
- A idade do concreto influencia de forma significativa na resistência à compressão, nota-se que aos 7 dias a resistência é menor do que aos 28 dias;
- Para a escolha dos aditivos superplastificantes deve-se utilizar os de terceira geração, para garantir uma relação água/aglomerante próxima de 0,20.
- A escolha do superplastificante não deve ser feita separadamente do cimento, os dois devem ser submetidos a ensaios de compatibilidade;
- O superplastificante deve ser submetido aos ensaios de cone de mini slump e o cone de Marsh;
- O mini cone serve para mostrar o teor ideal de aditivo nos ensaios com cone Marsh;
- Cimentos com grande quantidade de aluminato de cálcio ( $C_3A$ ) não são adequados para o uso em concreto de pós reativos. O  $C_3A$  em excesso prejudica a fluidez da mistura.
- Não é recomendado o capeamento dos corpos de prova cilíndricos com enxofre, visto que o enxofre apresenta resistência mecânica inferior ao concreto. Os corpos de prova devem ser nivelados por uma retífica.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 1983. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215:** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217:** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1987. 3 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222:** Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522:** Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23:** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específico. Rio de Janeiro, 2001. 12 p.

BINA, **Paulo. Concreto de pós reativos:** uma revolução no conceito do concreto. Revista techne, São Paulo, n. 8, p.46-51, jan/fev, 1999.

BIZ, Carlos Eduardo. **Concreto de pós reativos.** 2001. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

CHRIST, Roberto. **Contribuição ao estudo do concreto de pós reativos.** TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.

COLLEPARDI, S.; COPPOLA, L.; TROLI, R.; ZAFFARONI, P. **Influence of the Superplasticizer type on the Compressive Strength of Reactive Powder Concrete for Precast Structures.** Itália. EnCo, ca. (1995).

DAURIAC, C. **Building with concrete.** Special Concrete May Give Steel Stiff Competition. Seattle Daily Journal of Commerce. USA, May. (1997)

FORMAGINI, Sidiclei. **Dosagem científica e caracterização mecânica de concretos de altíssimo desempenho.** Rio de Janeiro: URFJ, 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro- Rio de Janeiro, 2005.

MACHADO, Gabrieli Formentin. **Análise experimental do comportamento do concreto de pós reativos – CPR.** Criciúma: UNESC, 2017. Artigo (Graduação em Engenharia Civil), Universidade do Extremo Sul Catarinense- Santa Catarina, 2017.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto:** microestrutura, propriedades e materiais. 1º ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

SERAFIM, Diego; LICETTI, Juliana do Carmo. **Análise do desempenho de três tipos de cimento no concreto de pós-reativos.** 2012. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012

TUTIKIAN, Bernardo F.; ISAIA, Geraldo Cechella; HELENE, Paulo. **Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho.** Congresso Ibracon, São Paulo, 2011.

VANDERLEI, Romel. D. **Análise experimental do concreto de pós reativos:** dosagem e propriedades mecânicas. São Carlos: USP, 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2004.